

第38回 日本大学理工学部図書館公開講座

「人類は原子を操れるかーこれまでの100年とこれからの100年の化学の話ー」が終了しました。

2021年9月27日

令和3年9月21日(火)18時よりビデオ会議ツール「Zoom ミーティング」を使ったライブ配信型公開講座として、第38回 日本大学理工学部図書館公開講座が開催された。

今回は理工学部理工学研究所長でもある物質応用化学科の大月穰教授による「人類は原子を操れるかーこれまでの100年とこれからの100年の化学の話ー」をテーマとして、157名の一般Zoom参加者を含む165名の参加者に向けて、これまでの100年の化学とこれからの100年の化学について、社会情勢、科学技術の進歩や興味深いトピックを交えて講演が実施された。講演時間は質疑応答をあわせて約70分であった。化学の挑戦では、想像力(イマジネーション)に先人の積み重ねた知識と技術をかけ合わせて創造力(クリエイティビティ)につなげていくことが重要であるという意味深く、熱いメッセージで講演は締めくくられた。その後、数件の質疑応答を行い講演会は終了した。

大月先生の講演概要

○はじめに

これまでの100年の化学との歩みを社会情勢、科学技術の進歩や興味深いトピックを交えて振り返りながら、現在、分子の分野において化学でわかっていること、できることの最新の研究成果の紹介、そしてこれからの100年の化学でできること、やりたいことについて講演が実施された。2020年日本大学理工学部は創立100周年を迎え「100年の情熱を未来へつなぐ」というメッセージの元で日本大学理工学部の各学科の研究成果が導く100年後をひとつにまとめたポスターが作成された。「さて、みなさん。この中で化学はどこに表現されているのでしょうか？」この問いから講演はスタートした。

○これまでの100年から現在へ

100年前の1920年に日本大学高等工学校が創設され、これが日本大学理工学部の始まりである。この当時は原敬首相襲撃事件、第1次世界大戦、スペイン風邪など混沌とした時代であった。またベルギーアントワープでオリンピックが開催されるなど、現代とどこか似ている状況であることが紹介された。その後1923年の関東大震災を経て第二次世界大戦へと時代は進んでいった。この頃の科学は、量子力学が誕生し、古典力学から新たな発想・仕組みが理解されつつある時代となり、天才的な科学者が多数登場した。今からちょうど100年前のノーベル賞は、化学賞がソディ「放射性と同位体」、物理学賞がアインシュタイン「光電効果」で、その後シュレディンガー方程式という原子分子が従う基本的な方程式が見つかった。なお、現在でも大学生はシュレディンガー方程式で挫折するケースがあることが紹介された。

【モノは原子でできている】

原子の構成と特徴を列記した原子の周期表をメンデレーフが提案したのは約150年前の1869年であった。現在ではニホニウムNhも載っている。2019年は国際周期表年(International Year of the Periodic Table of Chemical Elements; 通称 IYPT2019)であり、関連する大きなイベントが開催されていた。ちなみに、このIYPT2019のWebサイト(<https://iypt.jp/index.html>)掲載の周期表ではCa(カルシウム)をクリックすると日本大学理工学部物質応用化学科の紹介が表示される。

原子が集まって分子となる。分子は大きさが決まっているものであることを砂糖の分子と塩の固体との違いに着目して解説を行い、分子の概念の説明を行った。併せて高分子の概念を、PETを例にあげて説明した。

1700年代は生氣論(生物によって作られる有機物質は、鉱物などの無機物質とは何かが違うと考えられていた。)が主流であった。しかし1828年ウェーラーが無機物とシアン酸銀と塩化アンモニウムから尿素の合成に成功し、生氣論が否定された。「様々な合成が可能」であることがわかったことで、

その後多くの化合物の合成の研究が進み 1972 年には多数の原子で構成されるビタミン B12 が合成されるに至った。

分子はとても小さな存在であり、人間と分子の大きさを比べると、その比は地球の直径に対してペットボトルのキャップの厚み程度となる。その分子の合成は料理のようなイメージで、混ぜたり・暖めたり・冷やしたりなどを行うが、正確な秤量を行い、適切な行程で反応を制御しながら行う。これらを実際の実験装置の写真や動画を交え、さらに最近の実際の分子合成過程を紹介しながら合成の概要を説明した。分子のいろいろな表現方法やわかりやすい反応の例をアニメーションで紹介した。2つの容器に異なる種類の白い粉を入れ溶液を作成し、この2つを混ぜると赤くなる反応を示した。これは一方の白い粉の分子内にある“窒素と窒素で挟み込むように存在するくぼみ部分”に金属イオンが結合しやすい性質があり、混合したもう一方の溶液に入れた白い粉の成分である鉄イオンが結合して赤く見えるようになった。この反応を応用することで新たな分子の設計と合成が可能となった。例えば3組の“窒素と窒素の挟み込むくぼみ（ビピリジン）”を線上に配置した分子を合成し、この分子5本と塩化鉄を混ぜ合わせると星形（ヒトデ形）の分子が合成できる。この分子では中心に塩素イオン（マイナスイオン）が入り5つの星形（ヒトデ形）の腕の部分に鉄イオン（プラスイオン）が入る（※電荷の異なるイオンの配置により合成制御が可能）。このように分子を上手にデザインすると新しい分子を組み立てることができる。このような分子を超えた「超分子」はジャン＝マリー・レーン（仏）により提唱され、超分子化学の研究分野が確立した。レーン先生は超分子化学で1987年にノーベル化学賞を受賞された。大月先生もその数年後にレーン先生の研究室で研究をされていた。

【混ぜるだけでも面白い反応ができる最新の例を紹介】

4つの分子で銅イオン5個を挟み込ませる反応を紹介。ここでは単純に挟み込むだけではなく、化学反応を伴いながら集合して挟み込んでいる。元となる分子の中に炭素が六角形に配置しているか五角形に配置しているかなど、分子の少しの違いで銅イオンを3個挟むもの、2個挟むものなどさまざまな反応が見いだされている。簡単な分子でも知られていない反応がまだまだたくさんある。

おもちゃのブロックのように、混合した分子はくぼみと出っ張りが互いにぴったりはまり、組み合わせることで大きな構造になる。たくさんの分子が集まってさらに複雑な構造のモノもできていき、中には二重らせん構造になることもあった。

【閑話休題・トピック】

2015年にレーン研究室50周年記念研究発表会での記念写真（集合写真）を紹介。ここにはレーン先生とホフマン先生のお二人のノーベル賞受賞者が写っている。またこの後2016年ノーベル賞を分子マシンの研究で受賞したストッダート先生、フェリング先生、ソバージュ先生も写っている。もちろん大月先生も写っている。

【ソバージュ先生のカテナンの分子マシン】

2つの輪が組み合っている構造の物質であるカテナンの興味深い性質を解説した。ひとつの輪に窒素が2個配置している場所と3個配置している場所があり、輪の組む位置が変わると、組み合った部分の窒素の数が変わる。この組み合った部分に銅イオンを配置する。銅イオンの価数によって安定状態が異なるため（銅2+イオンは5個の窒素に囲まれると安定、銅1+イオンは4個の窒素に囲まれると安定）、イオン価数の変化と連動して輪が移動する現象が生じる。結果として銅イオンの位置を中心に片方の分子の輪が回転する。このようなものを分子の機械、分子マシンと呼ぶ。ストッダート先生はこの分子の輪の数を増やして、5つの分子の輪が組み合っている五輪マークのようにになっている物質を合成した。これはオリンピアダンと命名されている。

【ストッダート先生の分子エレベータ】

宇宙エレベータは長大な装置で壮大なプロジェクトである。それとは真逆にストッダート先生は“三つの輪をもつ分子”と“三つのアーム（柱のようなもの）を持つ分子”を組み合わせて、超極小の分子エレベータを作成した。この分子エレベータはプラスイオンがつくと上昇する構造で大きさはわずか約0.36ナノメートル程度である。この大きさは静止衛星を想定した場合の宇宙エレベータの全長

36,000km に対して、わずか約 100,000,000,000,000,000 分の 1 である。なお宇宙エレベータのワイヤー素材としてカーボンナノチューブの利用が計画されていることから、宇宙エレベータの実現にも化学の果たす役割は大きい。

【分子が動くのが見えた】

金属イオンを挟んだ構造の分子の様子を走査トンネル顕微鏡で観察すると、分子の向きが変わり分子の回転が確認された。その顕微鏡画像が紹介された。

【分子で光を操る】

ある分子を組み合わせて、電子をひとつ付加する。するとこの合成されたものは、一方の分子が受けた光のエネルギーを伝達して、もう一方の分子から光を放出する分子となった。このような分子の組み合わせが発見され、これは世界最小のスイッチとして働く分子となった。その大きさは豆電球・乾電池と比べると 10,000,000 の 1 の大きさしかないとても小さなものである。

【光エネルギーを化学エネルギーに変換 光合成】

植物は光合成により太陽光エネルギーと二酸化炭素と水を活用して有機物をつくり、酸素を放出している。地球上の生物はこれらによって生きている。光合成細菌は二酸化炭素と硫化水素と光を活用して光合成をしている。これらは超分子が担っている。これらの超分子は光を受ける分子が多数リング上に並んでいるため、効率よく太陽光を受けてエネルギーを伝達する。エネルギーが反応中心といわれる部位に達すると、電子が流れる（紅色細菌）。ちょうど太陽電池で電流を流すのと同じことを分子が行っている。これらを人工的に合成した分子で行い、2 つの分子を混ぜ合わせて合成した超分子で人工的に光合成の一部を再現できた。その興味深い具体例を示して説明した。

【化学のこれまでの 100 年として】

化学のこれまでの 100 年は

- ・モノは原子からできていて、原子がどんなものかわかった。
 - ・原子と原子をつなぐことができ、かなり複雑な分子を作ることができるようになってきた。
 - ・分子を組み立てることができるようになってきた。かなり複雑な「超」分子を作ることができるようになってきた。
 - ・組み立てた分子を動かすことができるようになってきた。まだ、単純な動きに限られる。
 - ・組み立てた分子で、光や電子を制御することができるようになってきた。まだ、単純な制御に限られる。
- とまとめられた。

○これからの 100 年の化学

【化学のこれからの 100 年：エネルギーを変換する】

エネルギーを変換する分子と化学の研究開発、中でも人工光合成を一番注目している。

【化学のこれからの 100 年：スマート分子デバイス】

スマート分子デバイスの研究開発に注目している。これまでパーツはかなり実現できている。これらを合わせたスマート分子デバイスができるようになる。動力やセンサーの分子マシンのついた人工細胞を作り、血管内を泳がせて患部に薬を送ったり治療を行わせたりすることが可能になる。これらはウイルスが行っていることと同じに見える。人工的に役立つモノを送り出したい。

【化学のこれからの 100 年：分子が分子を作る、自分を複製する：分子遺伝子】

役立つ分子を自動的に作り出したいと考えている（分子が分子を作る）。分子自身を複製するような人工的な分子遺伝子ができる。

【化学のこれからの 100 年：分子マシンから分子ファクトリーへ】

分子マシンから分子ファクトリーへ、分子をつくる分子の工場をつくる。材料を入れると分子が働いて作りたいモノを作れるようになる。有名な鈴木・宮浦カップリング（鈴木章 2010 年ノーベル化学賞）は触媒を利用して原料から作りたいものを分子でつくっている。走査トンネル顕微鏡で観察でき

るように、分子を並べることはできるので、分子マシンを並べて、分子工場を構築する。

【分子歯車】

走査トンネル顕微鏡の中で分子が回転していることが観察されている。距離が近いことから隣の分子を回している可能性があるので、分子歯車に発展させられるかもしれない（分子ファクトリー構築には重要）。

【自然界のモノの階層構造】

自然界は、原子がただ集まって生物個体になっている訳ではなく、原子が集まって機能する形の分子となり、分子の複合体が役割を持った細胞内小器官となり、さらにそれが集まって細胞、組織、生物個体となっていくように、階層構造となっている。

同様に人工分子も原子が集まって機能する形の分子となり、分子の集まりから超分子に、さらに集まることで超・超分子、超・超・超分子となっていく。このような人工分子の階層構造でこれまでより複雑で大きなモノを人工的に作るようになる。つまり、原子レベルからデザインされた機能があるモノを作れるようになる。

【これまでの100年では?】

この2000年間の中で、地球の人口・消費エネルギー・大気中CO₂濃度・地表の温度すべてこの100年で大幅に増加している。これらの改善に寄与するモノを目指す必要があると考えている。またそうでなければならない。

【化学のこれからの100年】

化学のこれからの100年でどんなことができるようになるかをまとめると

- ・原子レベルからコントロールされたモノを作ることができるようになる。
- ・ますます“複雑な”，“大きな”モノを作ることができるようになる。
- ・ますます高度に、光と電子をコントロールできるようになる（分子デバイス）。
- ・地球と人類の未来に貢献する。エネルギー，情報，モノづくりに寄与する。
- ・化学の挑戦に参加するには、想像力×先人が積み重ねた知識と技術 = 創造力
(イメージーションと知識と技術を掛け合わせてクリエイティビティにつなげる。)

○終わりに

日本大学理工学部各学科の研究成果が導く100年後をひとつにまとめたポスターの中で、化学はどこに表現されているでしょうか？この最初の問いに対する答えは？すべては物質でできていて、物質に関わることはすべては「未来の化学」がつくる。答えは「すべて」。

これまでの研究について研究室の学生と研究員、共同研究者、研究振興財団、科研費、日本大学への謝辞を表明された。

時間の許す範囲で質疑応答を行い、講演を終了した。

以 上